

免烧煤矸石粒径对泡沫混凝土性能的影响

倪 坤¹, 张燕刚², 金鹭云¹, 王庆轩³, 杨博文¹

(1. 北京建工新型建材有限责任公司, 100015, 北京; 2. 中国建筑西南设计研究院有限公司, 610041, 成都;
3. 中国建筑股份有限公司技术中心, 101300, 北京)

摘 要:为考察免烧煤矸石粒径对泡沫混凝土基本力学性能和吸水性能的影响,对掺入 0.16~0.6 mm、0.6~2.5 mm 和 2.5~5 mm 3 种粒径等级的免烧煤矸石的泡沫混凝土进行了研究,煤矸石的掺量分别为 10%、20% 和 30%,泡沫混凝土的设计密度分别为 700 kg/m³ 和 850 kg/m³。试验结果表明,泡沫混凝土的密度为 700 kg/m³,抗压强度随着煤矸石掺量有显著的变化;泡沫混凝土的密度为 850 kg/m³,抗压强度和抗折强度均随着煤矸石掺量的增加而降低,随着煤矸石粒径的增大而降低。煤矸石(0.16~0.6 mm)泡沫混凝土的吸水率较低,煤矸石(0.6~2.5 mm 或 2.5~5 mm)泡沫混凝土的吸水率较高。煤矸石泡沫混凝土 0.16~0.6 mm 软化系数随着煤矸石粒径的增大而减小。

关键词:免烧煤矸石;泡沫混凝土;粒径;吸水性能;软化系数

中图分类号: TU 74

文献标志码: A

文章编号: 1000-4726(2022)10-1312-04

EFFECT OF GRAIN SIZE OF UNCALCINED COAL GANGUE ON FOAM CONCRETE

NI Kun¹, ZHANG Yan-gang², JIN Lu-yun¹, WANG Qing-xuan³, YANG Bo-wen¹

(1. Advanced Construction Materials Co., Ltd., 100015, Beijing, China; 2. China Southwest Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., 610041, Chengdu, China; 3. Technical Center, China State Construction Engineering Co., Ltd., 101300, Beijing, China)

Abstract: The effect of coal gangue grain size on strength of coal gangue foam concrete was studied in this work. Coal gangue was crushed into three grades which were 0.16~0.6 mm, 0.6~2.5 mm and 2.5~5 mm. The compressive, flexural strength, water absorption and softening coefficient of coal gangue foam concrete were tested. Coal gangue content is from 10% to 30%, and design density of concretes were 700 kg/m³ and 850 kg/m³. The results show the strength of uncalcined coal gangue foam concrete is not lower than those of calcined coal gangue foam concrete reported in the literatures. The compressive strength does not decrease with coal gangue in 700 kg/m³ concrete, but compressive and flexural strength decrease with increase of content and grain size in 850 kg/m³ concrete. In coal gangue foam concrete with 0.16~0.6 mm, water absorption rate is low, and water absorption rate is high in coal gangue foam concrete with 0.6~2.5 mm or 2.5~5 mm. Softening coefficient of foam concrete exhibits a monotonic decreasing while coal gangue grain size increases.

Keywords: uncalcined coal gangue; foam concrete; grain size; water absorption; softening coefficient

泡沫混凝土是一种轻质的多孔混凝土,通常使用物理发泡的方法将泡沫注入水泥浆体中制备泡沫混凝土。泡沫混凝土具有自重小、防火、隔热等优点,一般用于建筑节能和矿坑填充等领域。目前,煤矸石用于制备泡沫混凝土方面的研究较少。煤矸石泡沫混凝土的研究主要有煤矸石泡沫混凝土制备技术、煤矸石掺量对泡沫混凝土性能影响,并且研究多为热处理的煤矸石。

通过对 0.16~0.6 mm、0.6~2.5 mm 和 2.5~5 mm 3 种粒径等级的免烧煤矸石对泡沫混凝土的基本力学性

能、吸水率、软化系数的研究,得出免烧煤矸石泡沫混凝土的基本性能以及煤矸石粒径对于泡沫混凝土性能的影响规律,指导免烧煤矸石泡沫混凝土的应用。

1 试验部分

1.1 原材料

- (1) 胶凝材料为 P·O42.5R 普通硅酸盐水泥。
- (2) 发泡剂为动物蛋白复合发泡剂。
- (3) 减水剂为固含量为 20% 的聚羧酸减水剂。
- (4) 煤矸石来自乌海煤田,试验用的煤矸石预先进行破碎处理,破碎后对煤矸石粒径进行分级,共分 3 级,分别为 0.16~0.6 mm、0.6~2.5 mm 和 2.5~5 mm。

收稿日期: 2022-08-01

作者简介:倪坤(1982—),男,山西运城人,高级工程师,博士,
e-mail: nikunun@126.com。

1.2 配合比和试验方法

试验研究煤矸石的掺量和粒径对于泡沫混凝土的基本力学性能和吸水性能的影响。试验的配合比设计见表1。试验设计了两种密度的泡沫混凝土,设计密度分别为 700kg/m^3 和 850kg/m^3 (编号分别为D700和D850);煤矸石的取代水泥的量分别为0、10%、20%、30%;泡沫加入量根据混凝土的设计密度确定,为了排除水灰比对于强度的影响,水灰比均为0.4;减水剂的用量受到煤矸石的掺量和煤矸石的粒径的影响,用量根据混凝土工作性在一定范围内进行调整。

表1 免烧煤矸石泡沫混凝土配合比

编号	水泥/kg	煤矸石/kg	泡沫/L	水/kg	水灰比	减水剂/kg
D700-0	520	0	780	208	0.4	0
D700-10	468	52	765	187.2	0.4	0.5~1*
D700-20	416	104	765	166.4	0.4	0.5~1.5*
D700-30	364	156	740	145.6	0.4	1~2*
D850-0	650	0	775	260	0.4	0
D850-10	575	65	750	230	0.4	0.5~1*
D850-20	520	130	750	208	0.4	0.5~1.5*
D850-30	455	195	725	182	0.4	1~2*

注:根据掺入煤矸石的粒径,调整减水剂的掺量。

根据GB/T17671—1999《水泥胶砂强度检验方法》对泡沫混凝土的抗压强度和抗折强度进行测试,试件尺寸为 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$,养护条件为标准养护。测试时,提前1d将试件放在室内进行干燥,并且在测试强度前对试件进行称重。

对于吸水性能测试,试件在养护28d后,一组试件泡水24h;另一组试件在 60°C 下,干燥至质量不再减少,之后两组试件分别进行称重和强度试验,测试煤矸石泡沫混凝土的吸水率和软化系数。

2 结果和讨论

2.1 煤矸石泡沫混凝土的抗压强度和抗折强度

掺入不同比例、不同粒径的密度等级为 700kg/m^3 和 850kg/m^3 的免烧煤矸石泡沫混凝土在3d、7d、28d龄期下的抗压强度和抗折强度如图1所示,煤矸石泡沫混凝土与一般的泡沫混凝土一样,其强度与密度相关,密度越大,强度越高,D850的混凝土的抗压和抗折强度均高于D700的混凝土的抗压和抗折强度。

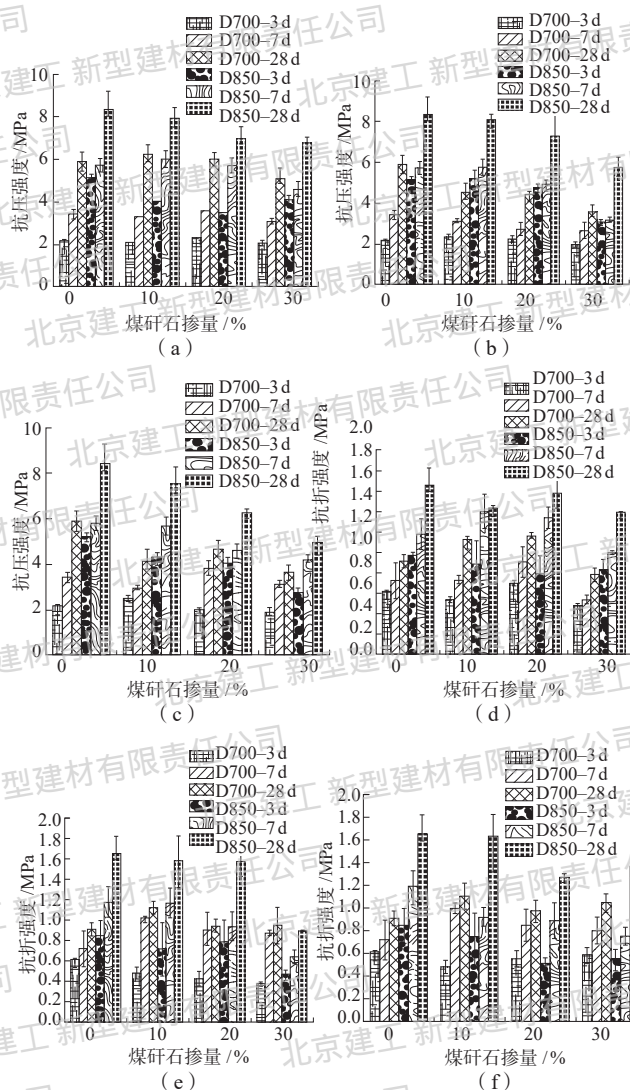


图1 免烧煤矸石泡沫混凝土的抗压强度和抗折强度

(a) 0.16~0.6mm 煤矸石泡沫混凝土的抗压强度;(b) 0.6~2.5mm 煤矸石泡沫混凝土的抗压强度;(c) 2.5~5mm 煤矸石泡沫混凝土的抗压强度;(d) 0.16~0.6mm 煤矸石泡沫混凝土的抗折强度;(e) 0.6~2.5mm 煤矸石泡沫混凝土的抗折强度;(f) 2.5~5mm 煤矸石泡沫混凝土的抗折强度

2.1.1 煤矸石掺量的影响

煤矸石的掺量对于两种不同密度的免烧煤矸石泡沫混凝土强度的影响有所不同。对于D850的泡沫混凝土的28d抗压强度,煤矸石的掺入会导致混凝土抗压强度降低,并且随着煤矸石掺量的增加,混凝土的抗压强度降低的幅度增大;而对于D700的泡沫混凝土的抗压强度,3种不同粒径级别的煤矸石的掺入对混凝土的抗压强度的影响有所不同。这是由于煤矸石自身强度较低,当混凝土上硬化胶凝材料的强度较高时,煤矸石的低强度的缺点更为突出。

因此,对于D850泡沫混凝土的抗压强度明显会随煤矸石掺量的增加而降低;而对于D700的泡沫混凝土,硬化胶凝材料的强度较低,煤矸石的低强度的

缺点并不明显。

因此,对于 D700 泡沫混凝土的抗压强度随煤矸石掺量的增加的变化没有明显的规律性。D850 的泡沫混凝土在 3d 和 7d 的抗压强度较低,煤矸石掺量对 D850 的抗压强度的影响,也没有明显的规律性,也印证以上推断。

煤矸石的掺量对泡沫混凝土的抗折强度影响的规律性不是非常明显,但总体上与煤矸石对泡沫混凝土的抗压强度的影响相似,即煤矸石的掺量的增加会使 D850 的抗折强度降低,但是对 D700 的抗折强度影响不明显。

这是由煤矸石对断裂面的增强作用以及在断裂面的分布的随机性(图 2),使得煤矸石对于泡沫混凝土抗折强度的影响更为复杂所致。除掺入 2.5~5mm 级别的煤矸石颗粒外,对于 D850 的泡沫混凝土,掺入 20% 的煤矸石并不会使抗折强度明显降低,而对于 D700 的泡沫混凝土,即使掺入 30% 的煤矸石也并不会使抗折强度明显降低。

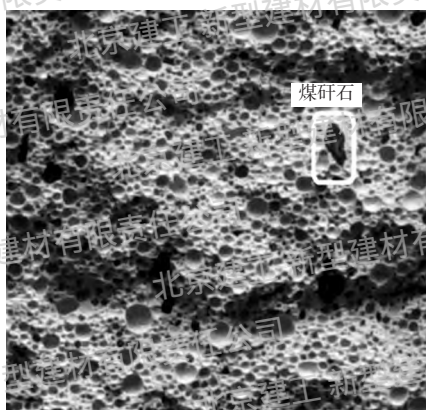


图 2 免烧煤矸石泡沫混凝土的断面

2.1.2 煤矸石粒径的影响

0.16~0.6mm、0.6~2.5mm 和 2.5~5mm 3 种不同粒径的煤矸石对于混凝土的抗压和抗折强度的影响,有明显区别。

总体上,混凝土的 28d 抗压强度随着煤矸石粒径的增大而减小。对于 D850 的 28d 抗压强度,当煤矸石粒径为 0.16~0.6mm 和 0.6~2.5mm 时,混凝土的抗压强度降低较小,而当粒径为 2.5~5mm 时,煤矸石掺量超过 20%,抗压强度降低较多;对于 D700 的 28d 抗压强度,当煤矸石粒径为 0.16~0.6mm 时,混凝土的抗压强度没有降低,当煤矸石粒径为 0.6~2.5mm 和 2.5~5mm 时,混凝土的抗压强度明显降低。

对于抗折强度,当煤矸石掺量为 10% 时,无论何种粒径的煤矸石的掺入并未使混凝土的抗折强度明

显降低,甚至对 D700 的混凝土而言,抗折强度有所增加。另外值得注意的是,该掺量下,对于 0.6~2.5mm 和 2.5~5mm 两种粒径的煤矸石泡沫混凝土,其抗折强度的标准偏差较大,也说明了由于煤矸石颗粒较大,掺量较小,故其在断裂面上的分布均匀性较差。

免烧煤矸石泡沫混凝土的压折比如图 3 所示,对于 0.16~0.6mm 粒径的煤矸石,煤矸石对压折比的影响较小;对于 0.6~2.5mm 的煤矸石,可使 D700 的泡沫混凝土的压折比显著降低,但是对 D800 的泡沫混凝土的压折比影响不大;对于 2.5~5mm 的煤矸石,在 30% 的掺量时,使两种密度的泡沫混凝土的压折比明显降低。这是因为分布在试件跨中的煤矸石颗粒,由于粒径较大,起到搭接的作用,从而提高了混凝土的抗折强度。

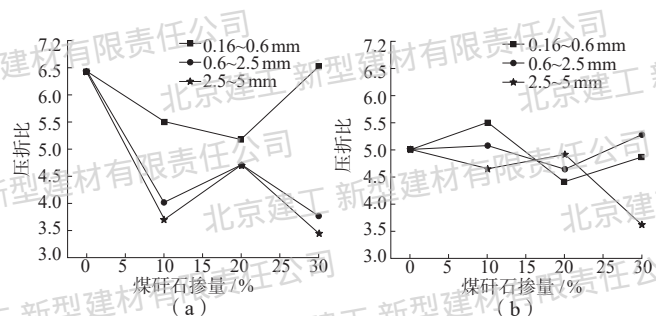


图 3 免烧煤矸石泡沫混凝土的压折比
(a) D700; (b) D850

根据上述试验结果以及分析可得出,对于免烧煤矸石泡沫混凝土强度,应主要考虑抗压性能。对于 700kg/m^3 的泡沫混凝土应采用 0.16~0.6mm 粒径的煤矸石颗粒,而对于 850kg/m^3 的泡沫混凝土,掺入的煤矸石粒径应不大于 2.5mm,且掺量应不大于 20%。

2.2 煤矸石泡沫混凝土的吸水性能

2.2.1 吸水率

保温材料吸水会导致材料的保温隔热性能大幅度降低。对于有机保温材料,通常吸水性较差,对吸水性的关注较少,但是对于无机保温材料,如岩棉、加气混凝土等吸水性非常好,这会严重影响保温材料的性能。因此,就煤矸石泡沫混凝土而言,吸水率的研究非常关键。

泡沫混凝土的吸水率为水中浸泡 24h 的混凝土的质量与 60°C 干燥至恒重的混凝土的质量的差与 60°C 干燥至恒重的混凝土的质量之比。 700kg/m^3 和 850kg/m^3 两种密度的泡沫混凝土的吸水率如图 4 所示,对于未掺入煤矸石的泡沫混凝土的吸水率分别为 19% 和 27%,泡沫混凝土的吸水率远小于加气混凝

土(通常为60%~70%)。

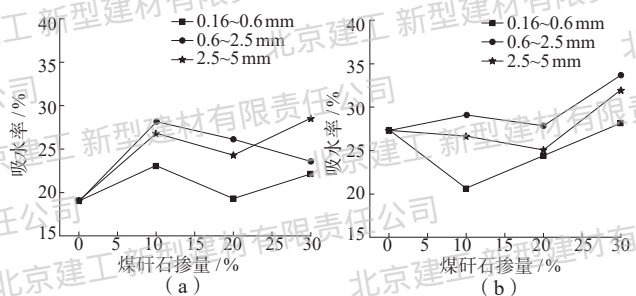


图4 免烧煤矸石泡沫混凝土的吸水率
(a) D700; (b) D850

D700 掺入煤矸石后,吸水率有所提高,D850 由于自身吸水率较高,掺入煤矸石后吸水率提高不明显,但是当煤矸石掺量达到30%时,吸水率有一定的提高。

比较不同粒径的煤矸石的影响,可看出0.16~0.6mm 粒径的煤矸石,对吸水率的影响不大,甚至在低掺量时,有利于减少D850 的吸水率。

泡沫混凝土中的气孔直径一般在1mm 左右,煤矸石颗粒有很强的吸水性能,大直径的煤矸石颗粒在吸水时,可起到“桥”的作用,导致混凝土吸水率升高。

因此,0.6~2.5mm 和2.5~5mm 两种粒径的煤矸石,明显提高了D700 的吸水率。掺入30%的0.6~2.5mm 或2.5~5mm 的煤矸石的样品的吸水率不到35%,其余的免烧煤矸石泡沫混凝土的吸水率均小于30%,表明免烧煤矸石泡沫混凝土在无机保温材料中具有较低的吸水率。

根据上述试验结果可以得出,为了避免免烧泡沫混凝土的吸水率增大,可掺入0.16~0.6mm 粒径的煤矸石;对于850kg/m³ 的泡沫混凝土,掺入3种粒径的煤矸石均可,但是掺量不大于20%。

2.2.2 软化系数

保温材料吸水后,若其耐水性较差,则会严重影响保温材料的正常使用寿命。软化系数是耐水性质的指标,是材料在水饱和状态下的抗压强度与材料在干燥状态下的抗压强度之比。耐水性材料软化系数一般应大于0.85。不同掺量、不同粒径的煤矸石的免烧煤矸石泡沫混凝土的软化系数如图5所示。

结果表明,泡沫混凝土的软化系数随着煤矸石粒径的增大而减小,对于掺入0.6~2.5mm 和2.5~5mm 两种粒径煤矸石的D700,软化系数随着煤矸石掺量的增加而减小,而对于掺入3种粒径煤矸石的D850以及掺入0.16~0.6mm 粒径煤矸石的D700,煤矸石的掺量对混凝土软化系数的影响不

明显。

由图5可知,煤矸石泡沫混凝土的软化系数较高。以0.85的软化系数为标准,700kg/m³ 的煤矸石泡沫混凝土应采用0.16~0.6mm 粒径的煤矸石,850kg/m³ 的煤矸石泡沫混凝土应采用0.16~2.5mm 粒径的煤矸石。

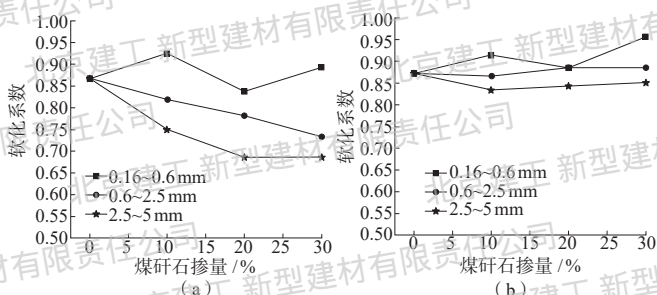


图5 免烧煤矸石泡沫混凝土的软化系数
(a) D700; (b) D850

3 结束语

(1) 煤矸石对于不同密度等级的泡沫混凝土的抗压强度、抗折强度、吸水率和软化系数的影响不同。综合考虑混凝土强度和吸水性能,对于密度为700kg/m³ 的泡沫混凝土可掺入0.16~0.6mm 粒径的煤矸石,掺量不大于30%;对于密度为850kg/m³ 的泡沫混凝土,可掺入0.6~2.5mm 粒径的煤矸石,掺量不大于20%。

(2) 泡沫混凝土的密度为700kg/m³,抗压强度随着煤矸石掺量有显著的变化;泡沫混凝土的密度为850kg/m³,抗压强度和抗折强度均随着煤矸石掺量的增加而降低,随着煤矸石粒径的增大而降低。对于大粒径的煤矸石颗粒,对断裂面有一定的增强作用,煤矸石泡沫混凝土的压折较小。

(3) 掺入0.16~0.6mm 粒径的煤矸石的泡沫混凝土的吸水率较低,掺入0.6~2.5mm 或2.5~5mm 粒径的煤矸石的泡沫混凝土的吸水率较高。

(4) 煤矸石泡沫混凝土的软化系数较高,软化系数随着煤矸石粒径的增大而减小。

参考文献

- [1] RAJ A, SATHYAN D, MINI K M. Physical and functional characteristic of foam concrete: A review[J]. Construction and Building Materials, 2019, 221: 787-799.
- [2] 周海兵. 煤矸石泡沫混凝土填充材料的制备与性能研究[D]. 湘潭:湖南科技大学,2014.
- [3] 史学锋,陈伟. 利用煤矸石制备泡沫混凝土的试验研究[J]. 选煤技术, 2014, 5(10): 22-26.
- [4] 杨志渊. 过火煤矸石对中等密度泡沫混凝土性能的影响[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.